

사면 붕괴와 관련 구조선 분석과 불연속면의 상관성 연구

Correlation of Tectoligneaments and Discontinuities in connection with Slope Failure

백 용(Baek, Yong)	한국건설기술연구원 토목연구부 지반구조물그룹
구 호 분(Koo, Hobon)	한국건설기술연구원 토목연구부 지반구조물그룹
김 승 현(Kim, SeungHyun)	한국건설기술연구원 토목연구부 지반구조물그룹

요약 / ABSTRACT

연구지역은 경기도 남양주시 화도읍 구암리 부근 절개면으로 2000년 8월 28일 400mm이상의 집중호우 시 붕괴가 발생한 곳이다. 붕괴절개면은 경사가 40° (1:1.2)로 도로설계기준을 충분히 만족함에도 불구하고, 구성암석 내에 발달하는 불연속면을 따라 암괴가 이동되어 붕괴된 현장이다. 본 연구목적은 당 절개면의 붕괴원인 규명을 위한 불연속면 자료수집 과정에서 발생하는 불연속면의 조사방법에 따른 상관성에 대한 비교검토로서, 현장조사에 의하여 절개면 범면에 나타나는 불연속면의 육안관찰 및 구성암석의 지질학적인 특성을 조사하고, 절개면 붕괴와 관련되는 불연속면의 방향성을 분석하였다. 광역적 범위에서 취할 수 있는 선구조는 항공사진을 통하여 자료를 추출하였으며, 지표면 하에 불연속면 자료는 시추조사 및 시추공영상촬영(Borehole Image Proccssing System, BIPS)에 의해 나타난 불연속면 방향성을 수집하였다. 조사방법에 따라 불연속면의 상관관계에 대하여는 스피어맨 순위상관관계를 이용하여 상관성을 도출하였으며, 그 결과 상관계수는 $\gamma_s = 0.91$ 에 해당되어 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한, 분석된 불연속면의 방향성을 토대로 하반구 등면적 투영상을 통한 안정성 해석을 실시한 결과, 평면과피에 대하여 불안정한 상태에 해당되는 것으로 나타났다. 본 절개면에 대하여는 절개면 안정화에 대한 대책으로 기존의 경사도 완화 뿐만 아니라 불연속면의 방향성에 대한 근본적인 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 불연속면, 선구조, 시추공영상촬영, 순위상관계수, 안정성 해석

A cut-slope near Guam-Ri Hwado-Eup Namyangju-Si Kyunggi-Do collapsed during a heavy rainfall over 400mm at 28th of August 2000. The cut-slope collapse reportedly developed mainly by block sliding along a set of discontinuities, although slope angle of the cut-slope was 40° (1:1.2) that agrees with the road construction criteria. This study aims to analyze differences and correlations among several data-collecting methods limited to discontinuity analysis related with cut-slope collapse.

This study started with analysing discontinuity surface characteristics, geology of the country rock and orientations of the discontinuities directly related with the collapse. Analysis of aerial photos around the study area provided regional lineament data, and discontinuity plane description and measurements were collected from core logging and Borehole Image Processing System (BIPS). Spearman's correlation ranking coefficient method was used to get correlation of discontinuity planes according to analysis methods. The result suggests that the correlation coefficient is $\gamma_s = 0.91$. Plus, stability analysis of discontinuity plane orientation data using equal-area stereonet revealed that the study area is unstable to planar failure. This study suggests that the cut-slope angles currently applied should be shallower and that significant attention is required to orientation distribution of discontinuities existed in cut-slopes studies.

Key Words: discontinuity plane, tectolineament, Borehole Image Processing System, ranking correlation coefficient, cut-slope stable analysis

서 론

도시의 확대와 도로의 건설 등으로 인하여 절개면은 필연적으로 발생하게 된다. 절개면 암반은 다양한 암석으로 구성되어 있어 그 양상은 각양각색으로 나타나게 된다. 특히, 암반에는 많은 절리와 단층들이 존재할 뿐만 아니라 미세한 균열 등도 복합적으로 존재한다. 절개면 안정성은 실제 암반의 강도보다 암반에 발달하는 불연속면의 특성에 많이 좌우된다.

터널이나 암반절개면에 나타나는 불연속면에 대한 연구는 암반공학의 발달과 함께 많은 연구가 진행되어 왔다. 암반 내에 존재하는 불연속면에 대한 정량적인 조사와 분석에 대한 기준은 국제 암반 역학회에서 제시하고 있다(ISRM, 1981b, c). 또한 암반의 정량적인 평가에서 불연속면의 영향에 대한 연구가 진행되어 있다(Barton, 1977; Bieniawski, 1989; Romana, 1993). 이는 현장 규모의 자료수집 단계에서 사용할 수 있는 연구이며, 광역적인 구조선이나 선구조에 대한 연구는 다른 각도에서 진행

되어 왔다.

선구조에 대한 연구는 1800년대에 영국의 Sedwick에 의해 시작된 후 항공기나 인공위성의 발달로 그 중요성이 매우 커지게 되었다. 최근 들어 인공위성 및 항공사진에 의한 구조선 분석을 통하여 국내의 광역적인 사면 안정평가를 시도한 연구들이 성행하고 있다(이사로, 1992; 신현준 외, 1996; 문상기 외, 2000). 이 외에도 인공위성 및 GPS(Global Positioning System)를 타 응용지질학 및 공학 분야에 다양하게 적용하고 있다(Hudnut and Behr, 1998). 그러나, 현장 불연속면의 자료와 항공사진상에서 밝혀지는 구조선과의 규모별 상관관계에 대한 연구는 아직 미미한 실정이다.

본 연구의 목적은 규모에 따라 수집 가능한 선구조를 채취하여 이를 통계적으로 분석하고 현장에서 수집된 선구조의 상관성을 분석 검토하는 것이다. 대상지역으로는 경기도 남양주시 화도읍 구암리 부근 붕괴 절개면을 대상으로 하였다. 본 절개면은 절개면 경사가 40° (1:1.2)임에도 불구하고 집중호우로 인하여 붕괴가 발생된 현장이다.

자료수집 방법은 대규모(macro-scale)인 경우, 항공사진을 통한 지형분석과 수계분석을 통한 구조선 분석을 시도하였다. 그리고, 현장 조사에 의한 자료수집은 주로 육안관찰에 의하여 절개면에 나타나는 불연속면을 조사하였다. 측정대상 불연속면은 절리, 단층, 편리 등 일률적으로 측정하였다. 지표하의 불연속면 방향을 측정하기 위하여 시추조사를 실시하고 시추공 내에 영상촬영장치(BIPS)를 설치하여 불연속면의 방향에 대한 자료를 수집하였다. 상기 세 가지 방법으로 수집된 자료를 분석하여 상관성을 고찰하였으며 총괄한 자료를 기초로 절개면 안정성을 검토하였다. 절개면 안정성 검토는 불연속면의 자료를 최대한으로 활용할 수 있는 한반도 등면적 투영법을 이용한 평사투영법을 사용하였다.

지질 개요

연구지역은 행정구역상 경기도 남양주시 화도읍 구암리 일대에 속한다. 본 지역은 북북동-남남서로 뻗어있는 광주산맥과 그 지맥 등이 주 산계를 이루며 대체로 만장년기(晩長年期)에 속하고 지질 구조 및 암석 분포의 차에 의해 그 지형적 특성을 달리하고 있다. 청평도폭에 의하면 경강단층을 중심으로 동측은 화야산-호명산-주체봉을 잇는 북북동 방향의 능선이 발달하며, 경강단층 서부에는 광주산맥이 통과한다(김정환 외, 1981). 수계 분포는 지형적인 요인을 따라 수지상으로 발달한 구운천 등 소규모 지류들이 북한강으로 합류되어 남하하고 있다.

연구지역 일대 지질은 한반도 지질구조 특징인 북동-남서방향으로 발달하는 선캄브리아기의 변성암류들을 기저로 상부는 시대불명의 화성암류가 분포한다(Fig. 1). 절개면 구성암석은 선캄브리아기에 형성된 호상흑운모편마암체의 일원인 운모편암으로 암색은 암록색을 띠며, 풍화정도가 심한 곳은 적록색을 띤다. 주요 구성광물은 편리면(schistosity)을 따라 집중 배열된 운모류이며, 그 외 녹니석과 사장석이 관찰된다. 특히 절개면 상부에 존재하는 암석일수록 하부에 비해 운모류의 양이 상대적으로 증가하는 경향을 보인다.

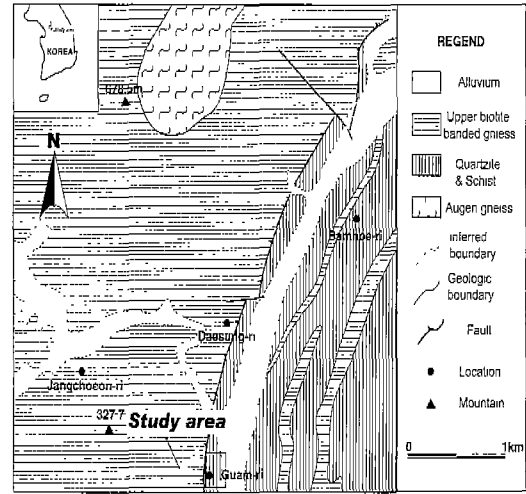


Fig. 1. Geological map of the study area.

절개면 현황 및 붕괴 상황

절개면의 현황을 파악하기 위하여 정면도를 작성하였다(Fig. 2). 본 절개면 정면도는 붕괴 직후 현상 조사를 실시하고 작성한 것이다. 정면도와 같이 상부 토층과 암반층 사이에는 인장균열이 수매 발달하고 있으며 전반적으로 위험블록이 존재하고 있다. 절개면의 일반적인 현황분포는 Table 1과 같다. 절개면은 총연장 200m, 최대높이 50m(자연 사면 포함)의 규모이며, 방향은 N29E/41SE이다. 이중 붕괴부는 50~80m, 90~110m 구간이며, 특히, 150m 지점 상부는 이완블록이 존재한다. 풍화상태는 보통풍화(moderately weathered)에서 잔류토(residual soil)까지 다양하게 나타난다. 가장 우세한 불연속면은 운모편암의 편리를 따라 발달하는 절리(N22E/27SE)로써 이 면을 따라 부분적으로 침투로 번갈아 있다. 산출상태는 번질이 거의 안된 정질의 암석과 심하게 번질되어 거의 점토화된 부분이 층상으로 교호하며 나타난다. 편리면을 따라 얇게 점토화된 부분은 담황색 내지 녹색을 띠며 거의 점토광물로만 구성되어 있다. 이러한 점토광물이 팽창성이 큰 스멕타이트(smectite)류인 경우, 나타나는 불연속면은 수직절리와 단층이 있다.

Table 1. General information of the cut-slope.

위 치	경기도 남양주시 화도읍 구암리		
도 로	국도 46 호선 (청평 → 남양주)		왕복차선 : 4 차선
	교 통 량 : 32,271 대/일 (1999 년 기준)		도 로 폭 : 18.6 m
절 개 면	길이 : 200 m	높이 : 최대 약 50 m	방 향 : 109/41
	낙 석		
낙석방지시설	낙석방지방과 낙석방지울타리 설치		
	절개면과 도로와의 거리 : 1 ~ 3 m		기타 방지 시설 : U형 측구
배수시설	배수로	U형 배수로 (0 ~ 180 m 전구간)	
	배수강	유 (콘크리트 옹벽 내)	
소 단	없음		
붕괴이력	50~80m 구간 : 평면파괴, 90~110m 구간 : 평면파괴, 상부 : 원호파괴		

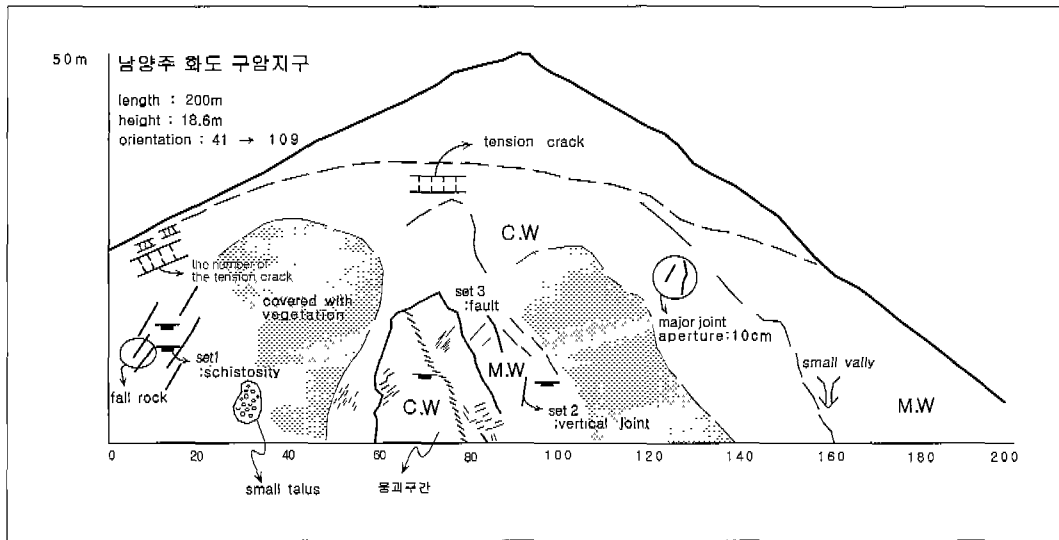


Fig. 2. Face sketch of the cut-slope.

절개면 붕괴는 지표면의 잔류토에 의한 것이 아니고, 절리에 발달된 점토질 물질에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있다(황진연 등, 1995). 이 외에 수직절리(N86W/84NE)를 따라 석영세백이 관찰되

는데 이는 이 절리군이 절개면 형성 이전에 주요한 절리군으로 존재했음을 의미한다. 단층(N32W/44NE)은 약 85m지점에 나타나며 상부까지 연장성이 좋다. 붕괴부의 좌측상부에는 절개면과 동일한

방향을 가진 인장균열이 총 7매 존재한다. 인장균열 발생면의 붕적층(colluvium) 두께는 60cm이며, 구성 암편은 아각형을 띄며 분급도는 매우 불량하다. 이러한 붕적층이 불과 혼합되면 쇄설류(debris flow)의 성격을 띄게 되며 완만한 사면에서도 유동성이 높아 집중호우기에 점착성 퇴적물의 재봉(rework)을 유발할 가능성이 있다(조성권 등, 1995).

절개면의 붕괴는 현장조사를 실시하기 전 2회에 걸쳐 붕괴가 발생하였으며 조사 당일에 3차로 대규모의 낙석을 동반한 붕괴가 발생하였다. 절개면 중앙부 상부의 파괴 양상은 켜기파괴의 형상을 보이지만 전체적으로는 절개면 중앙부 단층을 경계로 구성암반의 편리설리면을 따라 발생하는 평면파괴가 우세하게 나타나고 있다.

연구방법

항공사진에 의한 선구조분석

단층, 층리, 그리고 열극 등의 지질학적인 현상이 항공사진 및 인공위성 영상에서 선으로 나타나는 것을 선구조(Tectolineament)라고 한다(김종환 등, 1976). 일반적으로 선구조의 특징은 지형의 급격한 변화나 하천의 유로 발달상황 즉, 수계의 발달상태로 추측을 할 수 있다. 일반적으로 선구조의 추출방법에는 알고리즘(algorithm)을 이용한 자동추출법과 직접적인 추출법이 있다. 자동추출법은 시간과 비용의 절약을 기대할 수 있으나, 결과물에 대한 정확도 및 영상판독시 signal과 noise를 시각적으로 분리해야하는 어려움이 있다(이봉주, 1992). 반면, 시각에 의한 직접적인 추출법은 정확성과 신중성을 가져올수 있으나 주관적인 해석으로 치우칠 가능성이 있다. 본 연구에서는 직접적인 추출방법을 기본적으로 하여 사용하였으며 기타 Landsat영상, 음영기복도(shaded relief map)이나 지형도 및 시질도를 최대한으로 이용하였다. 세부적인 추출방식은 첫째, 소규모의 지질구조와 사진상의 오관을 방지하기 위하여 1km이상의 선형 구조를 채택하였다. 둘째, 하천의 유로 발달상황과 선구조 각도를 고려하여 추출하였다. 셋째, 좁은 계곡의 연속 및 급작스러운 구조선 단절양상을 고려하여 선택하였

다. 넷째, Landsat 영상, 음영기복도, 지형도, 시질도 등을 이용하여 종합적인 자료를 검토하여 선구조를 추적하였다. 이런 종합적인 분석작업으로 총 59개의 선구조를 추출하였으며 결과는 Fig. 3과 같다. 추출된 선구조의 분포 방향성을 명확히 하기 위하여 장미도(rose diagram)로 나타내었다(Fig. 4).

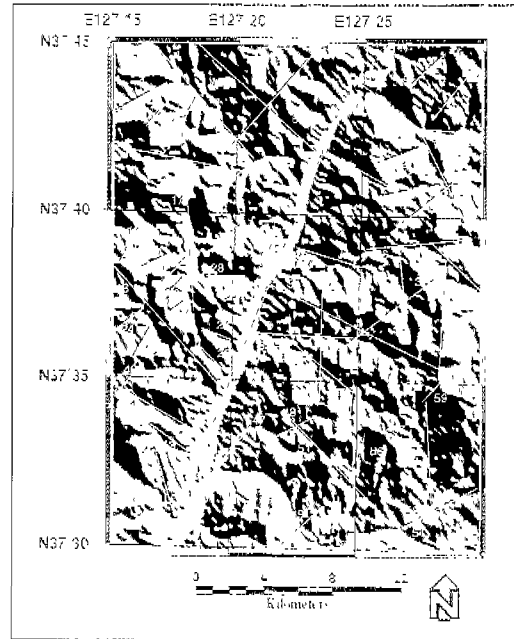


Fig. 3. Extracted tectolineaments in the study area.

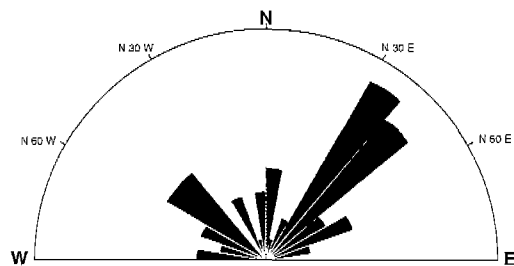


Fig. 4. Rose diagram of the extracted tectolineaments in the study area.

선구조 분석을 통하여 도출된 선구조 중 주로 N30~45E의 선구조가 가장 우세하게 나타난다. 선구조의 규모에 대한 분석을 시도하기 위하여 길이 빈도에 대한 분석을 실시하였다(Fig. 5). 길이 빈도 분석 결과 2~4km의 선구조들이 가장 많이 나타나는 것으로 나타났다.

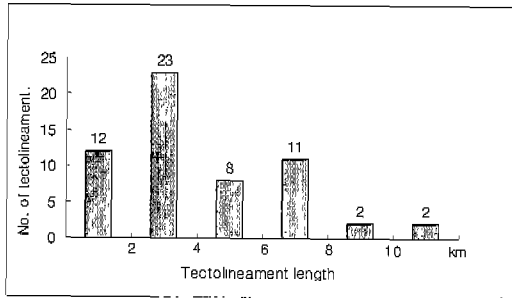


Fig. 5. Length-number correlation histogram of the tectolines extracted from the areal photo of the study area.

육안관측에 의한 불연속면 분석

현장조사를 통하여 절개면 상에 나타나는 불연속면의 방향을 측정하였다. 수집된 자료는 주로 편리성 절리면이 우세하며 단층도 포함되어 있다. 절개면의 붕괴와 관련되어 절리와 단층의 영향은 암반공학이나 사면공학에서 차이를 보이고 있지만 본 연구의 자료 통계상에서는 하나의 불연속면으로 가정하고 자료를 처리하였다. 상기의 방법을 통하여 불연속면의 자료는 총 93개의 자료를 수집하였으며 통계처리하여 등면적도(countour diagram)로 표현하면 Fig. 6과 같다. Fig. 6은 수집된 전체 불연속면의 자료를 하반구 등면적 투영도에 의하여 표시한 것이며 대원(great circle)으로 나타나는 것은 대표적인 불연속면을 나타내는 것이다. 절개면 법면에서 관찰한 불연속면의 방향성을 종합해보면 주요 불연속면의 셋트(set)는 N35E/50SE, N4W/45NE, N48W/50SW방향으로 나타났다.

시추조사 및 시추공영상촬영(BIPS)에 의한 불연속면 분석

항공사진 상의 선구조 분석과 현장조사결과의 검

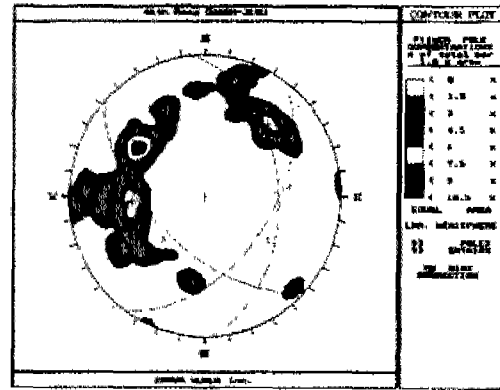


Fig. 6. Stereographic projection of the discontinuities measured from the cut-slope surface (great circles represent major planes).

토 및 절개면 내부 불연속면 방향을 비교하기 위해 수평 3공, 수직 1공, 총 4공의 시추조사가 실시되었다(Table 2). 수평보링은 NX 규격($\psi=76\text{mm}$)의 회전유압식 시추기를 이용하였다. 작업시 불연속면 자료 수집의 정확성을 향상시키기 위하여 시추시 굴진속도, 코아 회수에 중점을 두었으며 불연속면의 발달상태 및 균열, 절리상태에 대한 지질공학적 특성을 면밀히 조사하였다. 특히, 코아 회수율을 최대한 높이기 위하여 D-3 core barrel을 이용하여 시료를 채취하였으며, 수평 천공시는 상향 3°의 각도를 주어 시추작업을 실시하였다.

Table 2. Borehole logging condition and coring method in the study area.

No. of hole	drilling direction of borehole	Elevation (m)	Remark
BH-1	horizontal	43.5	down part
BH-2	horizontal	55.5	middle part
BH-3	horizontal	41.2	down part
BH-4	vertical	101.8	BIPS

시추조사에서 획득하지 못한 불연속면 자료 수집과 정확성을 기하기 위하여 시추공 영상 촬영 장치를 이용하였다. 사용장비는 일본의 Raax사에서 제작한 장비로서 시추공 내의 불연속면이나 파쇄대의 물리적 변형상태 관찰뿐만 아니라 암상변화, 일

차구조의 방향성도 측정이 가능하다(Fig. 7). 불연속면의 주향, 경사의 측정은 Fig. 8(a), (b)와 같은

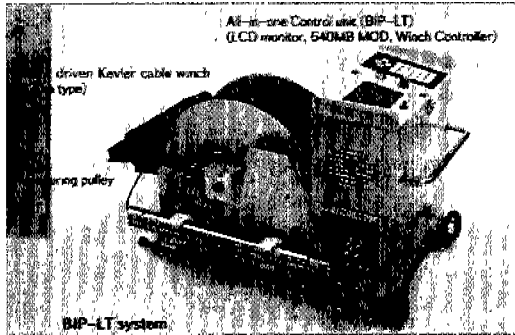


Fig. 7. Photograph of the BIPS equipment used in this study.

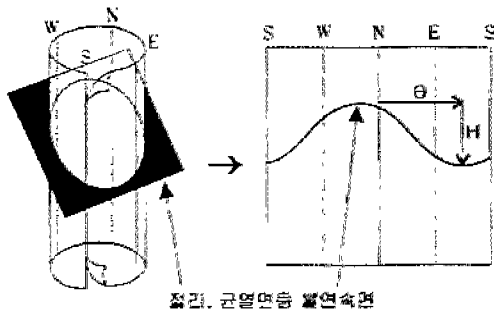


Fig. 8(a). Diagram showing discontinuity plane measurement using the BIPS method.

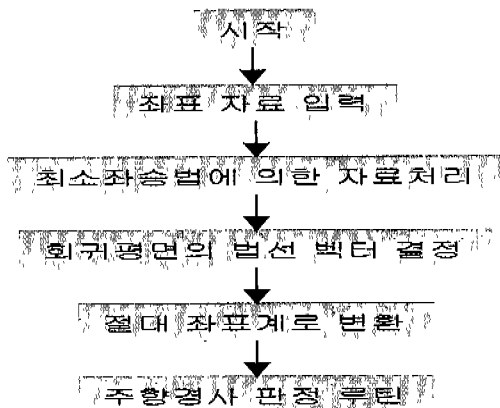


Fig. 8(b). Flowchart showing the procedure of orientation decision using BIPS raw data.

일련의 방법으로 수행하였다. Fig. 9는 BIPS를 이용하여 얻은 대표적인 예이다.

시추공 영상촬영을 통해 얻은 BH-4호공에서 관찰되는 불연속면은 종류에 관계없이 총 169개이다. 하반구 등면적 투영망에 도시해 보면 대표적인 불연속면의 방향은 N27E/36NE의 방향을 중심으로 집중되고 있다(Fig. 10(a)). 수집된 자료를 분석 검토한 결과 내부 역시 절개면의 육안관찰과 마찬가지로 편리 붕의 불연속면이 계속하여 연장되고 있는 것으로 나타났다. 또한, 집중적인 방향성을 알아보기 위하여 장미도표에 나타내면 Fig. 10(b)와 같은 결과를 얻을 수 있다.

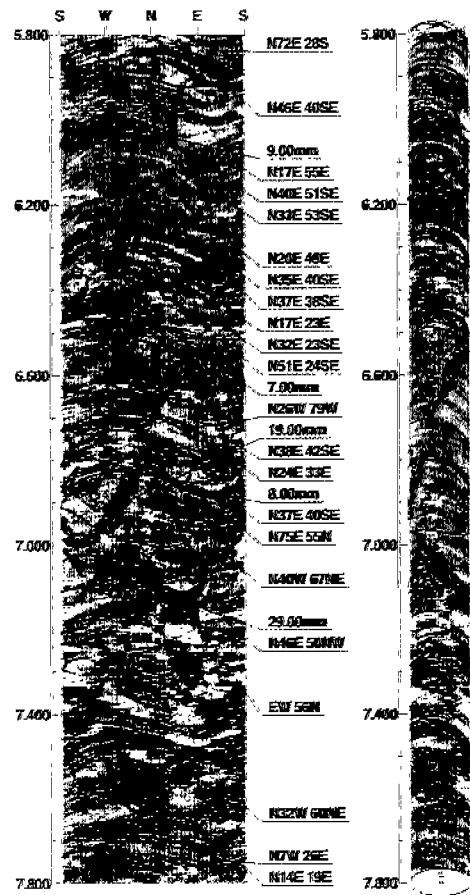


Fig. 9. An example of the BIPS data.

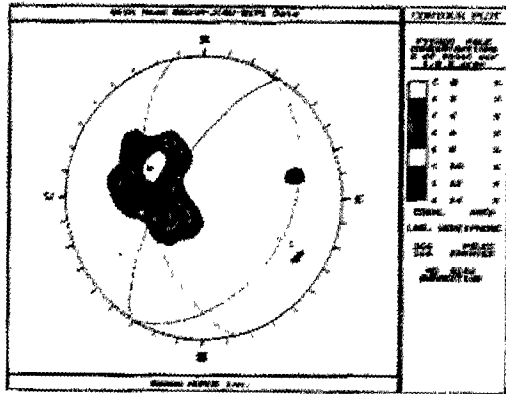


Fig. 10(a). Stereographic projection of the discontinuity planes taken from the BIPS data.

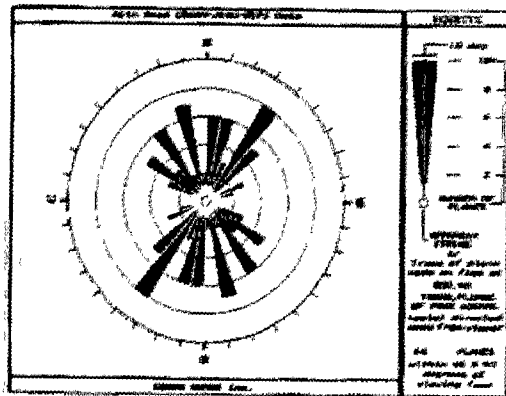


Fig. 10(b). Rose diagram of the discontinuity planes taken from the BIPS data.

분석자료에 따른 안정성 해석 및 고찰

항공사진을 토대로 선구조 분석 결과 본 지역의 중심부를 가로지르는 대단층 주위로 중규모의 단층 선구조가 발달하는 것으로 나타나고 있다. 이는 수계와의 발달과도 영향을 관련성이 깊은 것으로 나타났다. 대단층 주위의 선구조 길이는 대개 2~4km에 해당하는 것이 우세하게 발달하고 있다. 항공사진을 통하여 도출된 선구조의 방향은 주로 N30~45E 방향이 우세하게 발달하고 있다. 이들 중

북동방향의 선구조는 경강단층(김정환 등, 1981) 및 운모편암 편리면의 방향과 일치하며, 북서방향의 선구조는 절개면 내에 나타나는 단층과 그 방향이 유사하다.

절개면 법면에서 육안조사에 의하여 수집된 총 93개의 자료를 분석하면 불연속면은 주로 3개의 셋트로 분류되는 것으로 추정한다. 이들의 방향은 N35E/50SE, N4W/45NE, N48W/50SW 방향이다.

시추공 영상촬영을 통해 총 169개의 불연속면 자료를 분석하였다. 평사투영해석 결과 대표적인 불연속면의 방향은 N27E, 36NE의 방향을 중심으로 집중되고 있었다. 수집된 자료를 분석 검토한 결과 절개면 법면과 동일하게 지표면 하부에서도 불연속면이 연장되어 나타나는 것으로 나타났다.

수집된 선구조와 불연속면의 자료를 히스토그램으로 나타내면 Fig. 11과 같다. 또한 이들의 상관관계를 규명하기 위하여 상관계수를 산출하였다. 상관계수 도출방법에는 일반적으로 피어슨의 상관계수를 사용하여 변수들의 상관관계를 밝힌다. 그러나, 피어슨의 표본상관계수는 모집단의 분포가 정규분포라는 가정하에 유용하게 쓰이므로 본 연구에서는 모집단에 대한 가정을 전제로 하지 않는 스피어맨의 순위상관계수를 이용하였다.

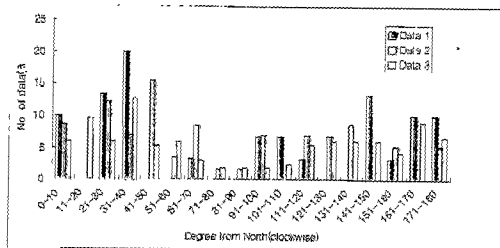


Fig. 11. Relationship between the tectoligneaments, direction of discontinuity and number of discontinuity(Data 1: tectoligneament from the aerial photo interpretation, Data 2: discontinuities extracted from the cut-slope surface, Data 3: the direction of discontinuities from the BIPS).

모집단이 정규분포를 다르지 않은 모집단을 비교하기 위하여 먼저 모집단을 구분하고 스피어맨 순위상관계수(Spearman rank correlation coefficient: γ_s)를 구하였다. 광역규모의 선구조의 표본은

X 표본이라 하고 불연속면의 표본을 Y 표본이라 하였다. 현장에서 수집된 보집단 자료의 스피어 맨 순위상관계수 γ_s 는 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$\gamma_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

(1)

여기서, $d_i = R_i - Q_i$ 이며, R_i 는 X_i 의 순위를, Q_i 는 Y_i 의 순위를 나타낸다. 식(1)을 이용하여 구한 순위상관계수는 $\gamma_s = 0.91$ 이며 유의성 여부를 $\alpha=0.001$ 로 점정한 결과 γ_s 의 임계값이 0.83이므로 검정통계량이 임계값을 상향하므로 귀무가설은 기각된다.

상기의 방법에서 구한 선구조와 현장 불연속면 자료를 근거로 하여 평사투영법을 이용하여 절개면의 안정성 해석을 시도하였다. Fig. 12(a)는 Dips.5.0을 이용하여 평면파괴 및 전도파괴의 발생가능성을 파악하기 위한 안정성 해석 결과이며 Fig. 12(b)은 쉼기파괴의 발생가능성을 검토하기 위한 해석결과이다. 본 대상지역은 쉼기파괴 및 전도파괴의 발생가능성은 적은 것으로 나타났으며 평면파괴의 경우, 불안정 영역에 수매의 불연속면의 극점이 도시되는 것으로 보아 평면파괴의 발생가능성이 있는 것으로 판단된다.

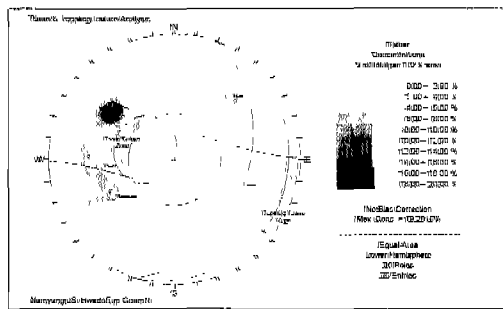


Fig. 12(a). The result of plane and toppling failure analyses(unstable).

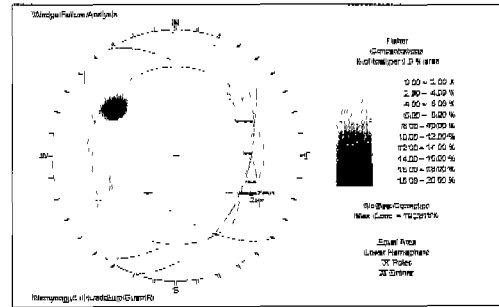


Fig. 12(b). The result of wedge failure analysis (stable).

본 연구지역은 현재 절개면의 안정각이 40° 로 도로기준에 적합한 상황다. 반면, 불연속면과 절개면의 기하학적인 관계가 불안정한 상태이므로 불연속면에 대한 적절한 방안이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

결론

절개면 조사시 불연속면 자료는 안정성 해석시 상당히 중요한 역할을 한다. 본 연구는 경기도 남양주군 화도읍 구암리 일대를 선정하고, 항공사진상 선구조의 분석과 현장 및 시추자료를 통한 불연속면의 방향성을 분석하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

항공사진을 토대로 선구조 분석 결과, N30~45E 방향성을 도출하였으며 당 지역의 선구조 길이는 2~4km에 해당하는 것이 우세한 것으로 나타났다. 이들의 선구조는 수계의 발달과도 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 절개면 범면 육안조사에 의하여 수집된 자료 분석결과, 불연속면은 주로 3개의 셋트로 분류되었으며, 이들의 방향은 N35E/50SE, N4W/45NE, N48W 50SW방향이다. 시추공 영상촬영을 통한 불연속면 자료 분석 결과, 불연속면 방향은 N27E/36NE로 나타났다. 불연속면의 방향을 사용하여 순위상관계수를 도출한 결과 $\gamma_s=0.91$ 의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나, 절개면 붕괴에 대한 안정해석시는 이들의 자

료를 종합적으로 비교검토하여 신중히 사용하여야 할 것으로 사료된다. 종합, 불연속면 자료를 이용하여 안정성 해석을 시도한 결과, 썩기파괴 및 전도 파괴의 발생가능성은 적으나 평면파괴의 발생가능성은 내재하고 있는 불안정한 상태인 것으로 판단된다.

사 사

본 연구의 수행에 있어서 시행착오와 의견을 교환하면서 같이 연구활동을 한 한국건설기술연구원 사면조사팀에게 심심한 감사의 사의를 보낸다. 붕괴 당시 긴박한 현장 상황에 원활한 자료수집과 지원을 아끼지 않은 의정부국도유지건설사무소 관계자 및 현장의 어려운 이견에 시주조사 및 의견교환을 해주신 SERVA직원께도 감사의 말씀을 드린다.

참고 문헌

강필중, 1979, 남한 인공위성 영상의 지질학적 분석 (I), 지질학회지, 15 (2), 109~126.
 강필중, 1979, 남한 인공위성 영상의 지질학적 분석 (II), 지질학회지, 15 (3), 181~191.
 김정환, 박석환, 이병주, 1981, 청평 지질도폭 설명서, 한국농림자원연구소.
 김종환, 강필중, 임정웅, 1976, LANDSAT-1 영상에 의한 영남지역 지질구조와 광상과의 관계 연구, 지질학회지, 12 (2), 79~89.
 문상기, 이영훈, 민경덕, 2000, 지구정보시스템을 이용한 충주호 북부 지역의 사면 안정 평가, 자원환경지질학회지, 33 (1), 51~59.
 신현준, 이영훈, 민경덕, 원충선, 김운중, 1996, 원격 탐사와 지구정보시스템을 이용한 충주지역의 사면안정분석, 자원환경지질학회지, 29 (5), 615~622.
 이봉주, 조민조, 강필중, 1992, 수치지형고도자료의 영상처리, 지질공학회지, 2(2), 141~146.
 이봉주, 1997, 한반도 동남부 지역의 선구조선, 지질학회지, 33 (1), 18~26.
 이사보, 1992, 지리정보시스템(GIS)을 이용한 청주 지역의 광역적 산사태 분석연구. 석사학위논문. 연세대학교 지질학과 대학원.

조성권, 이철우, 손영관, 황인걸, 1995, 퇴적학, 우성출판사.
 황진연, 김종열, 김제영, 1995, 경상북도 달성군 논공면 일원에서 발생한 산사태의 원인, 지질공학회지, 5 (3), 249~258.
 Barton, N. R., 1977, The shear strength rock joints in theory and practise, Rock Mechanics, 10 (1-2), 1~54.
 Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, Wiley-Interscience, New York.
 Hudnut, K. W. and Behr, J. A., 1998, Continuous GPS monitoring of structural deformation at Pacoima Dam, California, Seismological Research Letters, 69 (4), 299~308.
 International Society for Rock Mechanics, 1981b, Basic geological description of rock masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 18, 85~110.
 International Society for Rock Mechanics, 1981c, Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses(cd. E. T. Brown), Pergamon Press, Oxford.
 Romana, 1993, A Geomechanical Classification for Slope : Slope Mass Rating, Comprehensive rock engineering, ed. Hudson, Pergamon Press, Chpt. 23, 575~600.

백 용

한국건설기술연구원

토목연구부 지반구조물 그룹

411-712 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지

Tel : (031) 910-0228

Fax: (031) 910-0211

e-mail : baek44@kict.re.kr

구호본

한국건설기술연구원

토목연구부 지반구조물 그룹장

411-712 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
Tel : (031) 910-0217
Fax: (031) 910-0211
e-mail:hbkoo@kict.re.kr

김승현
한국건설기술연구원
토목연구부 지반구조물그룹
411-712 경기도 고양시 일산구 대화동 2311번지
Tel : (031) 910-0524
Fax: (031) 910-0211
e-mail:sshkim@kict.re.kr